

Mélységmérés és információközlés a karottázskábelen

SALAMON B A T U R

A lyukszelvényezés metrológiai színvonalának emelésében napjaink helyes törekvése nem új módszerek és műszerek kutatása és alkalmazása, hanem az eddigiek komplex szemléletével a pontosság és a gyorsaság fokozása.

Ebben a tekintetben a karottázskábel, mint „távközlő csatorna” két fontos szerepet tölt be: hosszúságának mérésével adják meg a mélységet; vezetőkein továbbítják a szondák, illetve a felszíni műszerek jeleit. Az utóbbi években elterjedt páncélos karottázskábelek mechanikus és villamos tulajdonságainak részletes ismerete lehetővé teszi, hogy ezt a két feladatot tökéletesebben oldják meg.

Az ismert automatikus eljárásokkal, a fúrt lyuk tényezőinek minél alaposabb figyelembevételével a mélységmérés pontosságát növelni kell.

Az elektronika fejlődése a digitális mérés technikával és a kábelen való kódolt információközléssel lehetőséget ad a nagyobb kombináltságú szondák alkalmazására, ami számítógépes adatgyűjtés és vezérlés útján a lyukszelvényezési műveletek gyorsaságát és az eredmények jobb értelmezését biztosítja.

В настоящее время правильное стремление к повышению метрологического уровня каротажных работ – это не разработка и применение новых методов и аппаратуры, а повышение точности и быстрей действия за счет комплексного применения существующих достижений.

В этом отношении каротажный кабель, как „канал связи” играет две важных роли: измерением его длины получается блужина, и через его жилы передаются сигналы зондов и наземной аппаратуры. Точное знание механических и электрических свойств широко распространенных за последнее время бронированных каротажных кабелей позволяет более совершенно решить эти две задачи.

С использованием известных автоматических методов и с тщательным учетом факторов пробуренных скважин, необходимо повысить точность замера глубин.

При настоящем уровне развития электронной техники, современная цифровая техника и передача кодированной информации через кабель дают возможность использовать зонды с повышенной степенью сложности, что, с машинными способами сбора и управления данными, обеспечивает повышение скорости проведения каротажных операций и качества интерпретации результатов.

It is a sensible effort of our days in raising the metrological level of well logging not to search for new methods and instruments and for their application, but to increase the accuracy and speed by analysing the traditional methods using a more complex way of looking at them.

Concerning this, the well logging cable – as a transmission channel – has two important roles: measuring its length gives the depth, while its core wires serve for the transmission of signals of the probes, resp. of the surface instruments. The detailed knowledge of mechanical and electric characteristics of sheathed cables applied in our days provides the possibility to solve these two tasks more and more perfectly.

We have to increase the accuracy of depth measurements by means of the known automatic procedures and by taking into account more thoroughly the factors figuring at the well.

The development of electronics together with that of the digital measuring technique and with the possibility of transmission of coded informations on the cable provides the possibility of applying sondes of higher combination-degree, thus assuring by means of computerized data collecting and control the speeding up of well logging procedures and their better interpretation.

A karottázs-méréseket az 1930-as években kezdték el és az 50-es évek óta mélyfúrás ezek nélkül el sem képzelhető. A 60-as évek végéig szinte az összes alkalmazható fizikai elven nyugvó módszert kidolgozták és a megfelelő műszereket kifejlesztették. Az utóbbi évek feladata az egész világ karottázs-szolgálatában a lyukszelvényezés mérés technikai színvonalának emelése lett. Mindenütt

belátták, hogy a műszerteknikai koncepciókban fellépő „témainfláció” értelmetlenül pocskolja a fejlesztési erőket. Sokkal hasznosabb az eddigi eredmények felülvizsgálata, a módszerek finomítása, a műszereknek a mérendő mennyiségekkel való jobb kapcsolatba hozatala.

A karottázs-szelvény a regisztrált görbe egy geofizikai paraméternek a mélység függvényében való változása. Tehát a mért mennyiséget, illetve az abból számított geofizikai paramétert *egy mélységponthoz* rendeljük. Ezért a mélységet a lehető legnagyobb pontossággal kell ismernünk, hogy a célobjektum helyzetét pontosan tudjuk kijelölni.

A mérőszondákat a lyukba kábellel bocsátjuk le. A mai karottázs-szolgáltatásban, a régebben használt *belsőtartóeres kábelekkel* szemben – még kis mélységű kutatásoknál is – többnyire „páncélos” kábeleket alkalmaznak. Az utóbbiak előnyei:

- kisebb átmérőbe nagyobb érszám építhető be;
- szakítószilárdságuk nagyobb;
- a „páncélzat” a kábelfejhez könnyebben köthető (kisebb átmérőjű csatlakozók készíthetők);
- kopásállóságuk nagyobb;
- nyúlásuk kisebb;
- a „páncélzat” teherviselése következtében alkalmazható vörösréz vezető erek kedvezőbbek a szondába jutandó elektromos teljesítmény és a jelek továbbítása szempontjából.

A páncélos kábeleket 1, 3, 4 és 7-eres kivitelben gyártják, 2,5–13,2 mm átmérő-tartományban, kiváló szigetelést biztosító propilén vagy teflon bevontakkal.

A szelvényeken feltüntetett mélységszámot a lyukba leeresztett kábel hosszának mérésével adják meg. A kábel mozgását a súrlódó meghajtással forgatott mérőkerék közli a fotoregisztrálóval, amelyet ma még többnyire mechanikus csatoláson keresztül mozgatnak. A Dresser cég műszerkocsijaiban szelzínmeghajtás van; az ELGI megoldások – amint ismeretes – impulzus-adóval közvetítik a kábelmozgást. A mérőkeréken legördülő kábel hossza azonban *nem helyesen jelzi a szonda valódi mélységét.*

A páncélos kábelekre mágnesjeleket raknak fel, pl. 50 méterenként. Az előírt feljelölési pontosság $\pm 0,02\%$. Ez azonban csak a felszínen levő kábelre vonatkozólag igaz, a lyukba leengedett kábel hossza ugyanis a felszínen mért hosszához képest megváltozik.

Ennek okai:

1. A kábel saját súlya,
2. a lyukműszer súlya,
3. a kábelnek az iszapban történő súrlódása,
4. a kábelnek a lyukfalon történő súrlódása,
5. a lyukműszernek a lyukfalon való súrlódása (ez főleg a falhoz szorított szondáknál jelentős),
6. a fúróiszap hidrosztatikus nyomása,
7. a lyuk hőmérséklete.

Ezen tényezők mindegyike számítható (2, 3). Néhány adatot azonban vagy a kábelgyártó cégek nem közölnek (esetleg nem is mérik meg), vagy pedig ezeket a lyukak tulajdonságainak eltérő volta miatt nem ismerjük elég pon-

tosan. A továbbiakban egy hazánkban is használatos ZX-13,2 típusú kábelre végzett számításaim eredményével szeretném a *rugalmas nyúlás* mértékét jellemezni.

Az 5000 méter mélységre lebecsátott kábel — $1,5 \text{ g/cm}^3$ iszapsűrűségénél, 80 kg súlyú szondával, 2000 m/óra vontatási sebességnél, $35 \text{ }^\circ\text{C/km}$ geotermikus gradiens esetén — *30 métert is megnyúlhat!* Ebben az értékben legnagyobb aránnyal, 70% -kal szerepel a kábel saját súlya miatti nyúlás, 15% -ot a hőmérséklet okoz, a maradék 15% pedig a dinamikus okokból bekövetkező nyúlás. Tehát, *ha nem végzünk korrekciót, akkor 5000 méter mélységet 6% -es hibával mérünk.*

Meg kell még említenem a *maradandó nyúlást*, amely gyors megálláskor, indításkor, vagy különösen egy-egy „*megszoruláskor*”, vagyis nagy terheléseknél rendszerint fellép. A maradandó nyúlás mértéke új kábeleknél igen nagy, ezért használatba vételkor a karottázs vállalatok tudatosan „*beépítik*” a kábelbe, de ezzel a kérdés nincs megoldva: a rendszeres használat során szükséges a kábel időszaksos újramérése.

A gyakorlatban különböző eljárásokkal igyekeznek növelni a mélységmérés pontosságát. A mágnesjeleket felrakhatják egy adott lyukba történő leeresztésnél, de már egy másik lyukban az iszapsűrűség-különbség miatt ez a jelölés érvénytelenné válik. A Schlumberger cég a mágnesjeleket a karottázs-bázison teszi fel *állandó feszítőerő* mellett. A műszerkocsiban méri a kábelben jelentkező terhelést, és a mélységszámlálást előre elkészített, ún. „*stretch-diagram*” segítségével a terhelés függvényében korrigálja. Belátható, hogy I ezrelék pontoságú mélységméréshez I ezrelék pontoságú terhelésmérés szükséges. A Schlumberger cég a mágnesjeleket nem használja korrekcióra, csak a mérőkerékről forgatott számlálóját azonosítja a felrakott jelzéseihez.

A kézi korrekció nehézkes. Az *automatikus korrekcióra* a Schlumberger cég 1966–71 között öt szabadalmat jelentett be (4, 5, 6, 7, 8). Ezekben a „*stretch-diagram*” függvénye szerint működő műveleti egység a mélységszámláló értékét, illetve a regisztráló meghajtását a terhelési értékkel korrigálja (automatikusan). Világos ugyanis, hogy az előzőkben említett módon felrakott mágnesjelek *egyszerű* észlelésével végzett korrekció (9) helytelen, tehát egy erre épített automata is *hibás lenne*.

Az ismertetett eljárások nem veszik figyelembe a hidrosztatikus nyomás és a hőmérséklet következtében bekövetkező nyúlást, mivel ezek a kábel terhelésében nem jelentkeznek. Mindezekkel együtt, a mélységmérés pontosságát a jelenlegi szinten valamivel jobb, mint I ezrelékre lehet biztosítani.

A bemutatott *abszolút mélységmérési pontosság* a különböző szondákkal, különböző időben készített szelvények egyeztetése szempontjából fontos és ilyenkor a problémával minden mérésnél szembetalálkozunk. A problémával csak abban az esetben találkozunk *egyszer*, ha komplex szondákkal mérünk, amelyekben a különböző érzékelők relatív helyzetét pontosan ismerjük. Mindemellett a jövőben a komplex szelvények mélységértékeit is feltétlenül javítani kell. Ismeretes az a szokás, hogy a perforálandó szakaszok kijelölésénél a kar-mantyúk detektálásával végső mélységegyeztetést és mélységkorrekciót végeznek.

A szükséges összes paraméternek egy méréssel, egy időben történő felvétele ma az egész világ szelvényezési szakembereit foglalkoztatja (10). Találunk már igen jelentős összeállításokat: pl. egy 5-detektoros nukleáris szondával kompenzált gamma-gamma, neutron-neutron és természetes gamma egyidejű felvételét (11), vagy akusztikus és nukleáris szonda-kombinációt is. Ez utóbbinál,

amikor 1-eres kábelre elkészítették, a jelek adásának és vételének a ciklusát is meg kellett szervezni. A gyakorlatban alkalmazott eddigi kombinációk elérték azt a határt, amelyet a 7-eres kábelben történő egyidejű jeltovábbítás a maximális érszám kihasználásával egyáltalában lehetővé tesz.

Egy teljes kombinációt involváló ún. „szonda-vonatok” óriási feladatot ró-nak mindenekelőtt a megfelelő elektromechanikus szerelvények fejlesztőire. Fennmaradó kérdés „csupán” az információ továbbítása a szondából és a szon-dába.

A komplex szondák egyszerűbb fokon úgy is működtethetők, hogy egy át-kapcsoló szerkezettel *csak az egyik* típusú rendszer van bekapcsolva. A kijelölt szakasz leérése után, a szondát kiemelés nélkül ugyanarra a szakaszra vissza-engedve, egy másik típusú szondára kapcsolunk át. Belátható, hogy a mélység-mérés relatív hibáját, sőt a műveleti időt ez is csökkenti.

A korszerűbb és gyorsabb megoldás természetesen az *egyidejű működtetés*. A kábel elektromos tulajdonságai – elsősorban a csillapítás és az „áthallás” – valamint a közlendő információk száma és jellege az eddigi többnyire *köz-veitlen*, továbbá *amplitúdó- vagy frekvenciamodulációs* rendszerekkel szemben, a *kódolt információközlést* hozzák előtérbe.

Az eddigi egyszerű kombinációknál az egyes szonda-típusok jeleit leggyak-rabban átalakítás nélkül továbbítják. Mindig komoly gondot okozott a lassan változó egyenfeszültségű, az alacsonyfrekvenciás, vagy négyszöghullámú (el-lenállásméréseknél), a közepes frekvenciájú (akusztikus mérésnél) jelek és az impulzusok (nukleáris méréseknél) közös továbbítása egy kábelben.

A problémát jelenleg elvileg vizsgáljuk, de feltételezzük, hogy a technika fejlődése következtében a közeljövőben beszerezhetőek lesznek a szondába épít-hető, félvezető alapú, hőálló, analóg és digitális elektronikus elemek. A komplex szonda az így szükségessé váló jelátviteli (adó-vevő) rendszerrel természetesen *bonyolódni fog*. Nehéz lesz továbbra is tartani azt a szondaépítő elvet, hogy mi-nél kevesebb érzékeny elemet „vigyünk le” a magas hőmérsékletű, rázással járó („*ellenséges*”) környezetbe. Csak akkor szabad majd ilyen szondákat építeni, amikor az *együttes* hibaráta sem haladja meg a mai *1 hiba/100 működtetés* értéket. Ellenkező esetben egy-egy szonda-típus működésképtelenné válása miatt a komplexitás értelmét veszít.

Kódolt információközlésen azt értjük, hogy az információforrás (vala-milyen érzékelő) „*üzenetének*” valamilyen digitális (legegyszerűbben bináris) formába átalakított jelkombinációját impulzussorozattal továbbítjuk.

Nem kívánok információelméleti fejtegetésekbe bocsátkozni. Műszerfej-lesztési koncepciókhoz azonban szükség van néhány *alapvető* adatra. Most csak röviden érintem az idevágó problematikát.

Az információközlés szervezéséhez meg kell vizsgálni

- a) a távközlő csatorna, esetünkben a karottázkábel tulajdonságait,
- b) a közlendő információk jellegét és számát, továbbá
- c) az információközlés sebességét.

A *karottázkábelek* közül – méréseim szerint – a legjobb típusnál és opti-mális beállításban a *3 dB/km* csillapítás-szint *100 kHz* frekvenciánál van. Tehát pl. *5 km* hosszúságban kb. *50–60 kHz* sáv szélesség érhető el. Ebben az esetben, egy négyszögimpulzus fel- és lefutási idejét is tekintve, *20 μsec* szélességű im-pulzusok továbbíthatók még kedvező csillapítással.

A rosszabb tulajdonságú karottázskábelek jelátvitelének javítására törekvések vannak mind a Szovjetunióban (12); mind az USA-ban (13). Lényegük, hogy a felszínen elhelyezett ún. *korrektor* áramkörrel többszáz kHz-re növelhető a sáv szélesség. Ennek a megoldásnak egyik problémája, hogy a lyukba leengedett kábel paraméterei (érelenállás, kapacitás, induktivitás) a hőmérséklet és a nyomás következtében megváltoznak. Így a stabil paraméterekre épített korrektor a csillapítás- és fáziskarakterisztika eltolódásait nem helyesen egyenlíti ki.

Térjünk el az optimális helyzettől és vegyünk egy olyan 5 km hosszúságú kábelt, amelynek sáv szélessége csak 10 kHz. Ezen jó hatásfokkal legalább 40 μsec szélességű impulzusok továbbíthatók, a minimális periódusidő pedig 100 μsec lehet.

Az *információátadás sebességének* becsléséhez legyen a komplex szonda vontatási sebessége 600 m/óra. Ez a nukleáris szondákra szokásos, a mintavételi köz pedig legyen 10 cm. Ha tehát 100 μsec a közlendő impulzussorozat megengedhető periódusideje, akkor egy mintavételi köz időtartama alatt 6000 *impulzust* tudunk továbbítani. Amennyiben az információkat bináris formában mérjük és egy-egy adat pl. 10 *bit-et* igényel, a szükséges szétválasztással 1000 *információforrás* adatát lehet biztosan továbbítani! Erre természetesen nincs szükség, de a példából láthatjuk az ilyen típusú információközlés nagy tartalmát.

Ezért

- a jobb és biztonságosabb jelátvitel végett az impulzusok szélességét növelni lehet,
- rosszabb jellemzőjű kábeleket is használhatunk,
- a mintavételt sűríteni lehet, ez kedvezőbb a rétegfelbontásra, vagy a statisztikus átlagolásra,
- a vontatási sebesség is növelhető.

Az elektronikus megoldásról röviden csak annyit, hogy a szondába *átmeneti tárolót* kell beépíteni, amely az előző intervallum adatait a következő intervallumban adja ki úgy, hogy az egyes információforrásokra a felszínről szinkron üzemből vezérelt elektronikus kapcsolók lépnek.

A közlendő információk jellegét tekintve, a nukleáris módszereknél és az akusztikus időméréseknél az impulzus-számlálás kézenfekvő. A hőmérséklet-mérés is megoldott impulzusszámlálással. A lyukferdeség és -bőségmérés is megvalósítható digitális helyzetkódolókkal. Megoldandó feladatként a különböző ellenállásmérések jeleinek átalakítása marad.

Meghatározandó még az *egyidejűleg közlendő információk száma*, azaz a kombinált szonda összetétele egy bizonyos feladat komplex kiértékelési megoldásához. Az irányítást ebben a kérdésben a műszerszerkesztők az értelmező geofizikusoktól várják.

A kódolt információközlés *természetesen tiszta digitális mérés technikát igényel*, sőt manapság valójában ez a digitalizálás lényeges indoka. A digitális mérés technika a lyukműszerek, a mérendő geofizikai paraméter oldaláról nyer igazi értelmet, szemben a mai formális lépésekkel. Napjaink korszerű lyukszelvényező műszerkocsijaiban számos analóg „számítógép” van. Az analóg számítási műveletekkel elérhető 1%-os pontosság a jelenlegi mérési eljárásokhoz elegendő. Ezek adatait digitálni önmagukban nem érdemes. Ha viszont az *eredeti információ digitális formában érkezik*, akkor már célszerű a lyukszelvényező

kocsiban egy digitális kisszámítógép, amely ugyanazt elvégzi, amit az analóg számítógép, de nagyobb képességei folytán a komplexitást jobban tudja szolgálni.

A jövő útja tehát: az *egy méréssel* felvett összes adatból azonnali kiértékelés a műszerkocsiban elhelyezett és a szükséges programokkal ellátott kisszámítógéppel. Ennek ma már nemcsak technikai, hanem *gazdasági* realitása is van. Ez természetesen nem zárja ki a központi helyeken történő nagyobb terjedelmű és igényű adatfeldolgozást, ha ezt valami indokolja.

Amíg azonban a komplex szondák építéséhez és a kisszámítógépek alkalmazásához elérünk, addig sokkal jobb egyedi szondákat kell készíteni – és már a digitális fejlesztés aspektusával –, azokat minél tökéletesebb alkalmazási segédletekkel kell ellátni és üzembiztosan működtetni, hogy érdemes legyen ezekből kombinációkat készíteni és adataikat számítógéppel komplex módon kiértékelni.

IRODALOM

- [1] *Jesch Atadár*: Mélyfúrási geofizika (Kőolaj és Földgáz, 1973. szeptember, különszám)
- [2] *Горбенко, Л. А.*: Каротажные кабели и их эксплуатация (Изд. „Недра”, Москва, 1967).
- [3] *Тараканов, В. А., Горбенко, Л. А.*: О точном определении глубин в скважинах при геофизических исследованиях (Прикл. геол. вып. 64, 1971).
- [4] *U. S. Patent No. 3,490,149* (Schlumberger Technology Corp.) Methods and Apparatus for Determining Depth in Boreholes (Iss. 1/20/70, App. 5/27/66)
- [5] *U. S. Patent No. 3,490,150* (Schlumberger Technology Corp.) Systems and Methods for Determining the Position of a Tool in a Borehole (Iss. 1/20/70, App. 5/2/66)
- [6] *France Patent No. 2,024,061* (Schlumberger Technology Corp.) Méthode et système pour déterminer la profondeur réelle d'un appareil descendu dans un forage au moyen d'un câble (Iss. 8/21/70, App. 8/22/69)
- [7] *U. S. Patent No. 3,552,025* (Schlumberger Technology Corp.) Apparatus for Determining Depth of a Well Tool in a Borehole by Measurement of Tension (Iss. 1/5/71, App. 2/10/69)
- [8] *U. S. Patent No. 3,566,478* (Schlumberger Technology Corp.) Depth Control Methods and Apparatus for Boreholes (Iss. 3/2/71, App. 6/24/68)
- [9] *Magyar szabadalom 161.342* (ELGI, feltaláló: Vincze János) Karottage mérő- és regisztráló berendezés automatikus mélységkorrekcióval (Bejelentés: 1971. június 29., közzététel: 1972. március 28.)
- [10] *Сохранов, Н. Н., Чукин, В. Т.*: Вопросы создания современных каротажных станций (Прикл. геол. Вып. 66, 1972).
- [11] *Truman R. B. et al.*: Progress report on interpretation of the dual-spacing neutron log (CNL) (The Log Analyst, Vol. 13, No. 4., 1972)
- [12] *Недоступ, Г. А., Пятахин, В. И., Стрижевский, А. М.*: Об одной возможности увеличения разрешающей способности аппаратуры радиоактивного каротажа. (Ядерная геофизика, вып. 9. ВНИИЯГГ, Москва, 1971).
- [13] *Canada Patent No. 871,853* (Texaco Development Corp.) Well-Logging System (Iss. 5/25/71, App. 4/16/68)